

NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC NỀN ĐỊA CHẤT KHU VỰC XẢY RA SỤT LÚN ĐẤT TẠI XÃ VĨNH THÀNH, HUYỆN VĨNH LỘC, TỈNH THANH HÓA BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐO ẢNH ĐIỆN ĐA CỰC

Đỗ Trọng Quốc¹, Phạm Nguyễn Hà Vũ¹

Hồ Tiến Chung², Trịnh Thị Thúy², Nguyễn Văn Đông²

Nguyễn Bá Duẩn³

TÓM TẮT

Tại biến sụt lún đất xảy ra ở nước ta ngày càng tăng cả về số lượng và hậu quả tác động. Kết quả nghiên cứu sụt lún đất tại khu vực xã Vĩnh Thành, huyện Vĩnh Lộc, tỉnh Thanh Hóa bằng phương pháp địa vật lý đo ảnh điện đa cực đã xác định: 1) Khu vực nghiên cứu nằm trên nền địa hình karst với hệ thống các hang ngầm lớn liên thông. 2) Có thể phân chia nền địa chất khu vực nghiên cứu thành 4 lớp cấu trúc có dị thường điện trở suất khác nhau, gồm lớp trầm tích bờ rời ($\rho = 13 \div 30 \Omega\text{m}$); lớp phong hóa mạnh ($\rho = 30 \div 60 \Omega\text{m}$); lớp ít phong hóa ($\rho = 60 \div 150 \Omega\text{m}$) và lớp đá tươi ($\rho > 150 \text{ Ohm.m.}$). 3) Có 3 tầng hang karst tại khu vực nghiên cứu gồm: Tầng 1 là các hang karst mở dạng hàm ếch phổ biến ở độ sâu $20 \div 30 \text{ m}$ bị lấp nhét bởi các vật liệu trầm tích bờ rời; Tầng 2 là các hang karst ở độ sâu từ $40 \div 60 \text{ m}$, gồm các hang kín chứa nước hoặc bị lấp nhét bởi vật liệu ngậm nước; Tầng 3 là các hang kín ở độ sâu lớn trên 90 m và có kích thước lên đến hàng chục mét.

Từ khóa: Sụt lún, phương pháp đo ảnh điện đa cực, karst.

Nhận bài: 26/6/2022; *Sửa chữa:* 28/6/2022; *Duyệt đăng:* 30/6/2022.

1. Đặt vấn đề

Biến đổi khí hậu và sự gia tăng dân số kéo theo nhu cầu sử dụng nước gia tăng. Mực nước ngầm bị hạ thấp do khai thác quá mức dẫn đến nhiều hậu quả, trong đó có tai biến, sụt lún đất. Tại Việt Nam, trong những năm gần đây, tai biến, sụt lún đất gia tăng cả về số lượng và hậu quả tác động. Sụt lún xảy ra ở những vùng có nền địa chất yếu, khai thác nước ngầm quá mức như đồng bằng sông Cửu Long [9], đồng bằng sông Hồng và các tỉnh miền núi, nơi nằm trên nền đá vôi như Thanh Hóa, Hòa Bình, Sơn La, Hà Giang, Cao Bằng, Lạng Sơn, Nghệ An... Chu trình nước ngầm trong đá vôi sẽ hòa tan CaCO_3 , tạo nên các hang ngầm được gọi là quá trình karst [2]. Nước ngầm giống như những cây chống trần hang, khi mực nước cao, khi mực nước ngầm suy giảm thì hiện tượng sụt lún tại các vị trí hang gần bề mặt và có trần yếu xảy ra. Việc xác định vùng có hang ngầm, kích thước hang cũng như sự phân bố của chúng tại vùng núi đá vôi là quan trọng trong công tác dự báo tai biến, giúp người dân giảm thiểu thiệt hại về người và của, đồng thời, giúp các nhà quản lý đề xuất phương án quy hoạch hợp lý. Khu vực huyện Vĩnh Lộc

tỉnh Thanh Hóa nằm chủ yếu trên nền địa hình karst, từ năm 1983 đến nay, được sự tài trợ của Chương trình nước sạch của UNICEF đã xây dựng khoảng 600 giếng khoan công suất lớn khai thác nước ngầm [10] và sự gia tăng đáng kể giếng khoan của các hộ dân đã dẫn đến sự gia tăng tai biến, sụt lún đất thời gian gần đây, đặc biệt là khu vực xã Vĩnh Thành. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp thăm dò địa vật lý điện để xác định vị trí, kích thước các hang ngầm tại khu vực này, tạo cơ sở khoa học giúp các nhà quản lý hoạch định chính sách quản lý, quy hoạch hợp lý, nhằm giảm thiểu thiệt hại về người và của cho người dân trong tương lai.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Khu vực được lựa chọn nghiên cứu thuộc xã Vĩnh Thành, huyện Vĩnh Lộc, tỉnh Thanh Hóa, là nơi đã ghi nhận sự xuất hiện của nhiều hố sụt đất liên tiếp xảy ra ở khu dân cư và ngoài cánh đồng [3,5]. Khu vực này khá bằng phẳng trên nền phong hóa đá vôi và nằm kẹp giữa hai con sông lớn là sông Mã ở phía

¹ Trường Đại học Khoa học tự nhiên - ĐHQGHN

² Viện Khoa học địa chất và khoáng sản

³ Viện Vật lý địa cầu



Tây Bắc và sông Bưởi ở phía Đông (Hình 1). Theo tài liệu địa chất, khu vực nghiên cứu nằm trong hệ tầng Đồng Giao (T_2a đg) và hệ tầng Cò Nòi (T_1 cn) là đá vôi xám, xám sẫm phân lớp bị dập vỡ mạnh [7]. Hệ thống khe nứt, đứt gãy đều có xu hướng bị căng kéo về hướng Tây Bắc. Hệ thống hang động thường phát triển dọc theo các đới dập vỡ, vì vậy, các tuyến địa vật lý được thiết kế sao cho bắt gặp nhiều đới cấu trúc, nhiều tầng hang nhất có thể và các tài liệu về địa chất, kiến tạo là cơ sở cho việc thiết kế các tuyến, hay nói cách khác là các tuyến địa vật lý được thiết kế chủ yếu vuông góc với hệ thống khe nứt, đứt gãy. Theo đó, có tổng cộng 10 tuyến đo địa vật lý điện được thiết kế, bao gồm 6 tuyến trong làng và 4 tuyến ngoài đồng xung quanh những hố sụt cũ. Trong đó, tuyến số 1, 1b, 2, 4, 4b, 5a, 5b: Tiến hành đo song song theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, chiều dài điện cực $a = 5$ m và $a = 8$ m; tuyến số 03a, 03b và BS: Tiến hành đo theo hướng cắt gấn vuông góc với các tuyến trên và chạy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, chiều dài điện cực $a = 5$ m (Hình 1).



▲ Hình 1. Vị trí nghiên cứu và sơ đồ tuyến địa vật lý

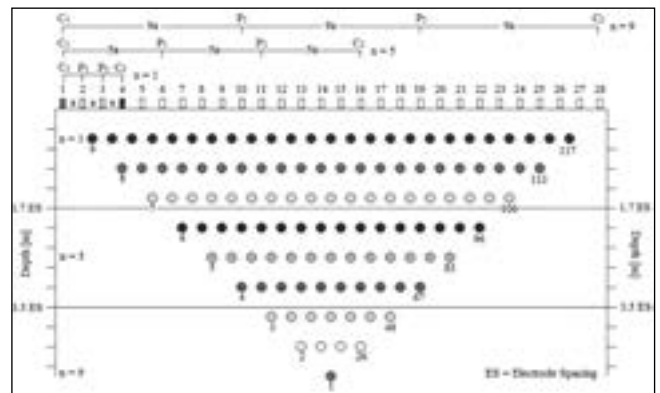
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp đo ảnh điện đa cực

Cho đến nay, các phương pháp đo sâu (nghiên cứu sự thay đổi điện trở suất theo phương thẳng đứng) và mặt cắt điện (nghiên cứu sự thay đổi điện trở suất theo phương nằm ngang) với 4 cực vẫn thường được sử dụng rộng rãi để giải quyết các bài toán địa chất một chiều (1D). Tuy nhiên, trong thực tế cần giải quyết các bài toán địa chất hai chiều (2D) phức tạp, nghiên cứu được sự thay đổi điện trở suất của môi trường theo cả hai hướng thẳng đứng và nằm ngang, phương pháp ảnh điện ra đời kết hợp được cả phương pháp đo sâu, phương pháp mặt cắt điện và được sử dụng cho các khảo sát cần độ phân giải cao đặc biệt trong nghiên cứu tìm kiếm hang động ngầm [4,8]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi dùng phương pháp này và sử dụng hệ thống thiết bị SUPERSTING R8/IP + 56, hãng AGI - Mỹ của trường Đại học Khoa học Tự nhiên.

Nguyên lý của phương pháp là nghiên cứu sự thay đổi tính chất dẫn điện của các loại đất đá theo phương thẳng đứng, ở độ sâu khác nhau theo chiều từ trên xuống dưới. Mỗi loại đất đá có tính chất dẫn điện khác nhau, tính chất này được xác định qua giá trị điện trở suất (ký hiệu là ρ và có thứ nguyên là Ωm). Trong môi trường địa chất tự nhiên, các hang karst tồn tại dưới hai trạng thái: Hang khô (hang không khí) và hang bị lấp nhét (bởi vật liệu bùn sét hoặc nước). Trường hợp hang ở trạng thái khô rỗng, điện trở suất đo được tại đây sẽ rất cao. Ngược lại, nếu hang ở trạng thái bị lấp nhét, điện trở suất đo được sẽ nhỏ hơn rất nhiều so với môi trường xung quanh. Chính sự khác biệt về giá trị điện trở suất đó làm cơ sở cho phương pháp thăm dò địa vật lý điện phát hiện các dị thường cục bộ liên quan đến đới nứt nẻ, vị trí hồng hốc hoặc các hang karst... có mặt trong môi trường địa chất.

Hình 2 là sơ đồ minh họa các điểm số liệu đo được bằng hệ cực Wenner với hệ thống 28 điện cực. Kết quả đo đạc được biểu diễn dưới dạng mặt cắt điện trở suất biểu kiến đo đạc: Trục nằm ngang là khoảng cách các điện cực trên tuyến; trục thẳng đứng là độ sâu khảo sát tương ứng với cự ly giữa các điện cực, độ dài tuyến và loại hệ cực được sử dụng. Số liệu sau khi đã thu thập (mặt cắt điện trở suất biểu kiến đo đạc) cùng thông tin về bề mặt địa hình sẽ được đưa vào phần mềm xử lý 2D chuyên dụng để tính toán ra sự phân bố điện trở suất thực của môi trường cần nghiên cứu (mặt cắt địa điện) và cuối cùng là mặt cắt minh giải (mặt cắt địa chất - địa vật lý).



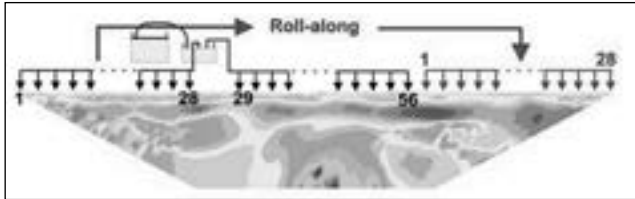
▲ Hình 2. Sơ đồ bố trí các điện cực phương pháp ảnh điện và vị trí các điểm số liệu thu được trong mặt cắt điện trở suất biểu kiến đo đạc

Phương pháp thu thập tài liệu thực địa

Trong khu vực khảo sát bố trí các tuyến đo địa vật lý theo các mặt cắt dọc và ngang. Trên mỗi tuyến đo bố trí các điểm đo sâu điện. Tại mỗi điểm đo, tiến hành đo bằng máy giá trị cường độ dòng điện (I) qua lưỡng cực phát AB và hiệu điện thế (ΔU) giữa lưỡng cực thu MN, sau đó dịch chuyển tăng kích thước hệ cực với khoảng cách đều là $AB = MN = a$. Các hang ở độ sâu không lớn và không chứa nước mới có khả năng gây sụt lún còn

lại các hang ở độ sâu lớn thường mức độ gây sụt không cao. Do vậy, độ sâu nghiên cứu được thiết kế để tìm kiếm các hang ở độ sâu khoảng 100 m đổ lại, tùy từng vị trí, độ mở của cực được lựa chọn tương ứng $a = 5$ m và $a = 8$ m.

Các tuyến khảo sát được lấy chi tiết tọa độ tại mỗi cực cắm là cơ sở để luận giải, xác định chính xác vị trí dị thường điện trở suất (hang ngầm). Số liệu đo được lưu trữ tự động trong bộ nhớ của máy và được trút ra máy tính ngay ngoài thực địa để tiến hành các bước xử lý kết quả tiếp theo.



▲ Hình 3. Sơ đồ đo “cuốn chiếu” của thiết bị SuperSting R8/IP+56 ngoài thực địa

Phương pháp xử lý số liệu

Tài liệu thu được trên mỗi tuyến đo là một mảng số liệu, bao gồm tập hợp giá trị điện trở suất biểu kiến của điểm đo, ở độ sâu khác nhau trên tuyến qua quá trình xử lý, phân tích mà các thông số như: Điện trở suất thực, bề dày lớp đất đá được xác định.

Quá trình xử lý thực hiện trên cơ sở xây dựng lát cắt đẳng trị điện trở suất. Trên mỗi tuyến đo trực hoành là vị trí điểm đo, trực tung là chiều sâu khảo sát. Giá trị điện trở suất ghi trên lát cắt đã được cộng tương hỗ để khử dị thường ảo và đưa về vị trí thẳng đứng tương ứng với vị trí thực của đối tượng theo công thức:

$$\rho_z(Z_n) = \frac{1}{2} [\rho_{ki}(Z_n) + \rho_{ki-n}(Z_n)]$$

Ở đây: i - là vị trí điểm đo sâu trên tuyến đo

n - là thứ tự dịch chuyển cự ly đo sâu tại điểm đo

$Z_n = \frac{(n+1).a}{2}$ là chiều sâu khảo sát

Quá trình xử lý được phân tích, định lượng theo mô hình hai chiều (2D) [1,6]. Mục đích là xác định tham số của các phần tử trên toàn bộ mặt cắt sao cho trường quan sát trên mặt cắt trùng với trường tính toán một cách tốt nhất, thực chất là cực tiểu hóa phiếm hàm độ lệch bình phương trung bình giữa giá trị điện trở suất đo trên toàn bộ tuyến đo với giá trị tính mô hình lý thuyết.

Toàn bộ quá trình được thực hiện bằng phần mềm xử lý chuyên dụng Res2Dinv sẽ cho ra hình ảnh lát cắt điện trở suất (ảnh điện) [4]. Trên đó thể hiện độ sâu cũng như điện trở suất của đối tượng nằm bên dưới, từ đó cho phép thành lập mặt cắt địa vật lý và luận giải, nhận dạng các đối tượng.

Chất lượng số liệu đo đạc được đánh giá qua sai số của phép đo. Sai số này là sự chênh lệch giữa các lần đo của cùng một phép đo. Từ số liệu đo đạc (mặt cắt điện trở suất biểu kiến đo đạc), dựa vào loại hệ cực đo và hệ số thiết bị, chương trình sẽ tính ra điện trở suất tính toán (mặt cắt điện trở suất biểu kiến tính toán). Từ số liệu tính toán, số liệu địa hình và độ sâu khảo sát của từng loại hệ cực đo, chương trình sẽ tạo ra một mô hình ban đầu bằng cách phân chia môi trường thành các khối chữ nhật mà vị trí, kích thước của chúng dựa trên vị trí điểm số liệu đo đạc và cự ly giữa chúng. Sau một số vòng lặp so sánh, điều chỉnh (nghịch đảo) lại mô hình ban đầu, chương trình sẽ chọn ra mô hình mà giả mặt cắt điện trở suất do chúng tạo ra (tính toán) trùng với số liệu đo đạc thực tế nhất (mặt cắt nghịch đảo).

Từ mặt cắt địa điện, cùng với kiến thức về địa chất, kinh nghiệm, chúng tôi thu được mặt cắt địa chất tuyến khảo sát. Chất lượng của quá trình xử lý này được đánh giá qua hai loại sai số: Sai số RMS và chuẩn L2 (xem trên từng mặt cắt). Hai loại sai số này dưới 10% là hoàn toàn đáng tin cậy để minh giải và cả 10 mặt cắt thu được đều thỏa mãn yêu cầu trên. Để tiện cho việc đối sánh, phân tích các tuyến, số liệu đều được xử lý theo cùng một lưu đồ, với cùng bộ tham số và được hiển thị với cùng thang màu điện trở suất.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Phân chia cấu trúc nền

Dựa vào giá trị thu được trên các mặt cắt nghịch đảo, chúng tôi đưa về cùng một thang điện trở suất (ρ) nằm trong khoảng từ $13 \div 300 \Omega m$. Giá trị này là phong chung đại diện cho điện trở suất của các mặt cắt khu vực nghiên cứu và là cơ sở để nhận diện đối tượng có cùng một giá trị điện trở suất. Từ kết quả thu được 10 mặt cắt có thể phân chia nền địa chất khu vực nghiên cứu thành các lớp đất đá chính như sau:

- (I) Lớp trên cùng là lớp vật liệu bờ rời điện trở suất thấp, ρ nằm trong khoảng $13 \div 30 \text{ Ohm.m}$. Lớp phủ này liên quan đến trầm tích Đệ tứ, có bề dày thay đổi theo từng tuyến và trung bình dày 10 - 12 m (line 1b, 2, 3a, 4a, 5a, 5b). Ngoài ra, tại một số tuyến vật liệu trầm tích còn lấp nhét vào hang hốc karst hoặc hang karst mở nên bề dày lớp này khá lớn, lên đến trên 20 m như ở các line 1a, 3b, BS (Hình 8,9,10,11,12).
- (II) Lớp đá phong hóa mạnh. Có giá trị điện trở suất từ $30 \div 60 \text{ Ohm.m}$.
- (III) Lớp đá phong hóa vừa, ít phong hóa. Có giá trị điện trở suất từ $60 \div 150 \text{ Ohm.m}$.
- (IV) Lớp đá tươi. Có giá trị điện trở suất lớn hơn 150 Ohm.m.

Để kiểm chứng kết quả luận giải, nhóm tác giả đã đi khảo sát tại các hộ dân khoan giếng quanh khu vực



khảo sát cho thấy, lớp (I) là lớp đất bờ rời; lớp (II) là lớp đá sệt, đá non có màu xám đến nâu đỏ; lớp (III) là lớp đá cứng có kẽ, người dân thường khoan giếng đến tầng này thì gặp nước; lớp (IV) là lớp đá xanh (đá vôi) cứng nguyên khối, khoan nên lấy được các thỏi đá. Các kết quả khoan này trùng với luận giải của địa vật lý.

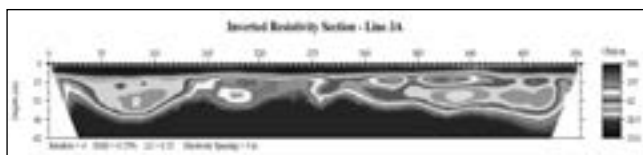
3.2. Kết quả nhận dạng các dị thường hang

Từ mặt cắt địa điện của 10 tuyến đo (Hình1), nhóm tác giả đã lựa chọn được 4 tuyến có phát hiện các dị thường điện trở suất (phát hiện các hang) bao gồm tuyến 5a, 5b, 4, 3a. Cụ thể:

Tuyến 3a

Tuyến chạy theo hướng Tây Bắc Đông Nam và nằm phía cánh đồng (Hình1). Tuyến có chiều dài là 555 m với khoảng cách điện cực là 5 m và đạt độ sâu tối đa là 62 m. Trên mặt cắt địa điện (Hình4) có thể nhận dạng được 3 đới dị thường giá trị điện trở suất thấp. Các dị thường này nằm trong lớp đá vôi phong hóa nứt nẻ mạnh (lớp II và III). Cụ thể:

- + (1) Dị thường thứ nhất xuất hiện từ mét thứ 70 ÷ 120. Vị trí cấu trúc này có thể liên quan đến cấu trúc của 1 hang ở độ sâu từ 25 - 33 m rộng khoảng 15 m;
- + (2) Dị thường thứ 2 từ mét thứ 90 - 105. Vị trí này là đới phong hóa mạnh nằm giữa lớp đá ít phong hóa nên có thể là một đới đập vỡ chứa nước và sẽ phát triển trở thành hang;
- + (3) Dị thường thứ 3 từ mét 385 - 520 trên mặt cắt địa điện điển hình cho đới bị phong hóa đập vỡ mạnh hình thành nên cấu trúc hai hang sâu từ 22 - 30 m và rộng khoảng 30 m.



▲ Hình 4. Mặt cắt địa điện tuyến line 3A

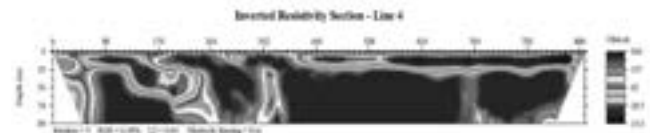
Tuyến line 4

Tuyến line 4 dài 888 m, chạy theo hướng Đông Bắc - Tây Nam với 112 điện cực và khoảng cách điện cực là 8 m, độ sâu tối đa là 99 m. Số liệu đo, sau khi xử lý thu được mặt cắt địa vật lý tuyến Line 4 - Hình số 5. Trên mặt cắt nghịch đảo có thể thấy 02 đới dị thường gồm:

- + (1) Dị thường thứ nhất xuất hiện từ mét thứ 56 - 224. Trên mặt cắt cho thấy đây là một hang mở với cấu trúc dạng hàm ếch đạt độ sâu đến 55 m, gây nên dị thường điện trở suất thấp; đới cấu trúc này có khả năng gây ra sụt lún cao.
- + (2) Dị thường ở mét thứ 353 - 367 và sâu tới nóc khoảng 25 xuống tới 75 m, đây là đới đập vỡ bị phong hóa mạnh, nằm giữa lớp đá gốc rắn chắc với kích thước 14 x 50 m. Tại vị trí này sẽ hình thành hang trong tương lai.

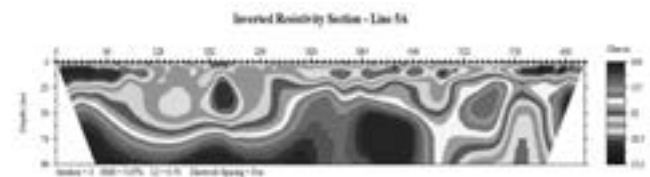
Tuyến 5a

Tuyến chạy dọc phía sau khu dân cư ven QL45 theo hướng Đông Bắc Tây Nam, bắt đầu phía trung tâm thị trấn và kết thúc ở cổng làng Hà Lương. Tuyến có chiều dài 664 m với khoảng cách điện cực là 8 m, đạt độ sâu tối đa là 99 m. Trên mặt cắt địa điện (Hình6) xác định được 2 đới dị thường, cụ thể:



▲ Hình 5. Mặt cắt địa điện tuyến line 4

- + Dị thường thứ nhất nằm trên lớp đá vôi phong hóa nứt nẻ mạnh (lớp II và III). Dị thường này xuất hiện từ mét thứ 115 - 256. Đây là đới đã bị sụt lún, bị lấp nhét bởi vật liệu ở phía trên, độ sâu đạt đến 60 m;
- + (2) Dị thường nằm tại mét thứ 512 - 624 m trên mặt cắt. Vị trí này liên quan đến dị thường của hang ở độ sâu từ 57 - trên 99 m và rộng trên 20 m. Phần trên trần hang là đới phong hóa mạnh nên có nguy cơ xảy ra sụt lún cao trong tương lai.

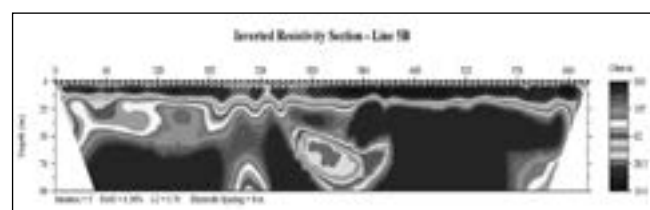


▲ Hình 6. Mặt cắt địa điện tuyến 5a

Tuyến 5b

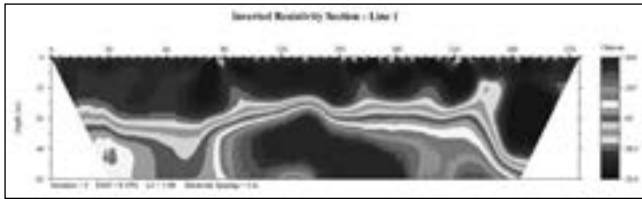
Tuyến chạy dọc phía sau khu dân cư ven QL45, phía bên sông Bưởi theo hướng Đông Bắc Tây Nam, bắt đầu phía gần ngã tư đường trục làng với QL45, cuối tuyến gần làng Giàng. Tuyến có chiều dài 664 m, khoảng cách điện cực là 8 m và độ sâu 99 m. Trên mặt cắt địa điện tuyến Line 5b - Hình số 7 cho thấy có 2 đới dị thường (hang). Các dị thường này nằm trong lớp đá vôi phong hóa nứt nẻ mạnh (lớp II và III). Cụ thể:

- + (1) Dị thường thứ nhất xuất hiện từ mét thứ 223 - 250. Trên mặt cắt địa điện cho thấy dị thường này có thể liên quan đến cấu trúc của một hang ở độ sâu tới nóc trên 90 m;
- + (2) Dị thường nằm tại mét thứ 296 - 416 m trên mặt cắt. Vị trí này liên quan đến dị thường của một hang ở độ sâu từ 52 - 80 m. Hang này nằm trong lớp đá tươi có phần trần hang một phần bị phong hóa mạnh nên có nguy cơ ra sụt lún trong tương lai.

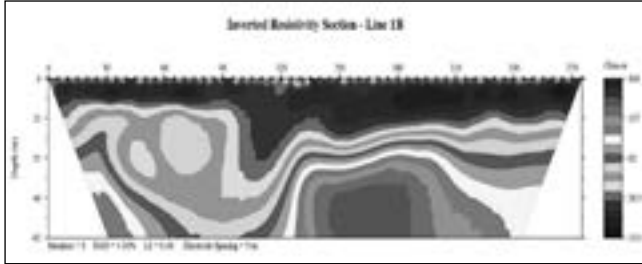


▲ Hình 7. Mặt cắt địa điện tuyến line 5b

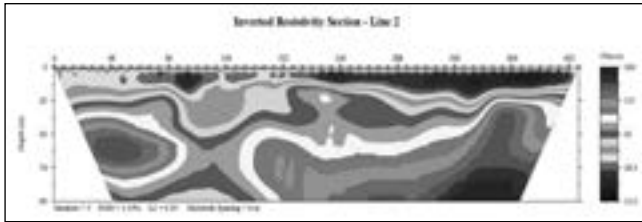
Một số mặt cắt khác:



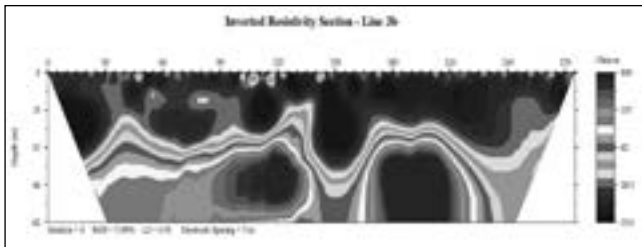
▲ Hình 8. Mặt cắt địa điện tuyến line 1



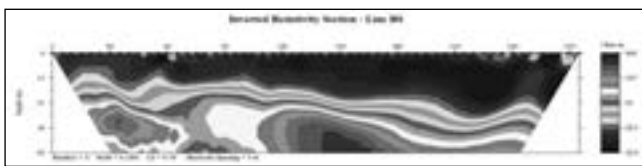
▲ Hình 9. Mặt cắt địa điện tuyến line 1b



▲ Hình 10. Mặt cắt địa điện tuyến line 2



▲ Hình 11. Mặt cắt địa điện tuyến line 3b



▲ Hình 12. Mặt cắt địa điện tuyến line BS

3.3. Kết quả thảo luận

Như vậy, tại khu vực nghiên cứu phát hiện khá nhiều hang karst với kích thước lớn hoặc đã bị sập trần, tạo địa hình dạng hàm ếch hoặc chưa bị sập (đây là những đối tượng dễ sinh ra sụt lún trong tương lai).

Các dị thường (hang Karst) xuất hiện chủ yếu tại 4 tuyến, gồm line 3a, 4, 5a và 5b.

Dựa vào vị trí xuất hiện các hang và kích thước của chúng cũng như mối quan hệ với các đới xung quanh, có thể phân thành 3 tầng hang khác nhau tại khu vực nghiên cứu như sau:

- + Tầng 1: Các hang karst mở dạng hàm ếch phổ biến ở độ sâu 20 ÷ 30 m (Line 1, 3a, 4), bị lấp nhét bởi các vật liệu bên trên;

- + Tầng 2: Các hang karst ở độ sâu từ 40 ÷ 60 m (Line 1, 1b, 4, 5a, 5b), bao gồm các hang lớn, hang kín và hang hở;

- + Tầng 3: Các hang lớn ở độ sâu trên 90 m (line 5a, 5b) cũng bắt gặp trong các tuyến khảo sát.

Chiều rộng các hang karst dao động từ vài mét đến trên 10 m (Line 4).

Về vật chất lấp nhét trong các hang dự kiến đều được lấp nhét một phần bởi bùn, sét, hữu cơ... ở trạng thái ngậm nước.

Căn cứ theo vị trí xuất hiện của dị thường (biểu hiện hang karst) trên các tuyến đo, theo quy luật phát triển karst thông thường thì các hang phát hiện trong khu vực nghiên cứu có thể có sự phát triển liên thông với nhau. Tuy nhiên, do mật độ các điểm đo, khoảng cách giữa các tuyến đo còn lớn, nên sự phát triển liên thông với nhau (ranh giới giữa các tầng hang này) còn mang tính chất dự kiến, ngoại suy. Trong thực tế có thể có những sai khác (phụ thuộc vào khoảng cách giữa các tuyến và điểm đo).

Đá gốc trong vùng là đá vôi lẫn sét vôi, trong thành phần có chứa các vật chất khác như sulphur, thạch anh, than... Than và sulphur ở trạng thái ngậm nước là những vật chất dẫn điện rất tốt (điện trở suất thấp). Sự có mặt của các khoáng vật này có thể là đối tượng tạo ra dị thường giả, phần nào ảnh hưởng đến kết quả đo địa vật lý, gây nên sai số nhất định.

Ngoài ra, việc liên thông giữa các tầng hang này trên thực tế còn có những biểu hiện sau:

- + Tụt và mất nước ngầm trong các giếng khoan của các hộ dân;
- + Đục nước tại các giếng xung quanh khi khoan giếng gần đó;

Các hiện tượng vận động về thủy văn như trên, cùng dòng chảy liên thông giữa các hang karst (nếu có) đã làm trôi rửa một phần vật chất lấp nhét (sang lưu vực khác) trong hang, gây ra hiện tượng lún sụt trên mặt đất tại khu vực xã Vĩnh Thành, huyện Vĩnh Lộc, tỉnh Thanh Hóa.

4. Kết luận

- **Về phân chia địa tầng:** Có thể phân chia địa tầng khu vực nghiên cứu làm 4 lớp tương ứng với các giá trị điện trở suất khác nhau, gồm: Lớp đất phủ (lớp I) với điện trở suất thấp ($\rho = 13 \div 30 \Omega m$). Đá vôi phong hóa nứt nẻ mạnh (lớp II) và vừa (lớp III): Các lớp này nằm dưới lớp phủ, có mặt hầu như trên toàn bộ các tuyến đo với độ dày rất mỏng, dưới 1 m. Giá trị điện trở suất của hai lớp này khá thấp, lần lượt có giá trị là $\rho = 30 \div 60 \Omega m$ và $\rho = 60 \div 150 \Omega m$. Đá vôi tươi (lớp IV): Có giá trị điện trở suất lớn hơn 150 Ohm.m, nằm sâu phía dưới, tuy nhiên đôi khi cũng lộ ra trên bề mặt như tại tuyến line 4.



- **Về sự phát triển các hang karst trong khu vực:** 1) Khu vực nghiên cứu nằm trên nền địa hình karst có hệ thống các hang ngầm lớn liên thông với nhau. 2) Có 3 tầng hang karst tại khu vực nghiên cứu gồm: Tầng 1: Các hang karst mở dạng hàm ếch phổ biến ở độ sâu 20 ÷ 30 m, bị lấp nhét bởi vật liệu trầm tích bờ rời; Tầng 2: Các hang karst ở độ sâu từ 40 ÷ 60 m, gồm các hang kín chứa nước hoặc bị lấp nhét bởi vật liệu ngậm nước; Tầng 3: Các hang kín ở độ sâu lớn trên 90 m và có kích thước lên đến hàng chục mét.

Kết quả trên chỉ mới phát hiện những hang karst có mặt tại vị trí mà các tuyến đo đã cắt qua. Mặc dù khoảng cách giữa các tuyến và điểm đo đã phù hợp với tiêu chuẩn hiện hành nhưng khối lượng công việc vẫn còn là khiêm tốn so với mức độ phức tạp của sự

phát triển karst dưới mặt đất. Do đó, trong thực tế có thể có thêm những hang khác nằm ngoài (hoặc nằm giữa) vị trí các tuyến đo và điểm đo. Vì vậy, cần bổ sung thêm khối lượng địa vật lý (tuyến đo điện) cho khu vực nghiên cứu.

Khu vực xã Vĩnh Thành nói riêng và các xã lân cận thuộc huyện Vĩnh Lộc nói chung có mức độ phát triển phức tạp của các hang karst do nằm trên nền của đá vôi hệ tầng Đồng Giao (T_2a đg) và hệ tầng Cò Nòi (T_1 cn) nên hiện tượng sụt lún và mất nước là không tránh khỏi. Vì vậy, cần thiết phải có nghiên cứu chi tiết và rộng hơn (ngoài xã Vĩnh Thành) về địa chất - địa vật lý để có cơ sở khoa học phục vụ cảnh báo c tai biến liên quan cũng như hoạch định chính sách quy hoạch gắn với phát triển bền vững của địa phương ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Advanced Geosciences, Inc., 2009. Intruction Manual of AGI EarthImager 2D, p139.*
2. "What is Karst?" (PDF). *Environmental Science Institute. The University of Texas at Austin. May 16, 2006. Retrieved 25 December 2020.*
3. Đoàn Mô - Địa chất Thanh Hóa, 2020. *Nhiệm vụ: Điều tra đánh giá tổng thể và giải pháp xử lý tại khu vực có nguy cơ sụt, lún đất xã Vĩnh Thành, huyện Vĩnh Lộc, tỉnh Thanh Hóa.*
4. Geotomo Software (2007) RES2DINV. *Rapid 2D resistivity and IP inversion using the least-squares methods. User's manual, p138.*
5. UBND huyện Vĩnh Lộc, 2020. *Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 và kế hoạch sử dụng đất năm 2021.*
6. Jackson, Julia A., ed. (1997). "Karst". *Glossary of geology (Fourth ed.)*. Alexandria, Virginia: American Geological Institute. ISBN 0922152349.
7. Lê Duy Bách, Đặng Trần Quân, *Địa chất khoáng sản tỷ lệ 1: 50.000 nhóm tờ Thanh Hóa (E-48-IV). Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 2001.*
8. Loke M.H., 2004. *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: a practical guide to 2-D and 3-D surveys, p61. https://sites .ualbe rta.ca/~unsw rth/UA-class es/223/loke-cours e-notes .pdf.*
9. Trần Văn Tỷ, Huỳnh Văn Hiệp, 2017. *Hiện trạng khai thác nước dưới đất và mối tương quan giữa hạ thấp cao độ mực nước và sụt lún đất...*

STUDYING THE GEOLOGICAL STRUCTURE IN VINH THANH COMMUNE, VINH LOC DISTRICT, THANH HOA PROVINCE WHERE LAND SUBSIDENCE OCCURRED USING MULTI-ELECTRODE RESISTIVITY IMAGING METHOD

Do Trong Quoc, Pham Nguyen Ha Vu

VNU University of Science

Ho Tien Chung, Trinh Thi Thuy, Nguyen Van Dong

Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources

Nguyen Ba Duan

Institute of Geophysics

ABSTRACT

Land subsidence hazards occurring in our country are increasing both in number and impact consequences. The results of land subsidence study in Vinh Thanh commune, Vinh Loc district, Thanh Hoa province by multi-electrode resistivity imaging method have determined: 1) The study area is located on karst terrain with large underground caves connected into a system. 2) The geology of the study area can be divided into 4 layers with different resistivity anomalies, including unconsolidated sedimentary layer ($\rho = 13 \div 30 \Omega m$), strong belt of weathering ($\rho = 30 \div 60 \Omega m$), less weathered layer ($\rho = 60 \div 150 \Omega m$), and bed rock layer ($\rho > 150 \Omega m$); 3) There are 3 floors of karst caves in the study area including: 1st floor: karst caves with collapsed ceilings are common at depths from 20 ÷ 30 m and are filled with unconsolidated sedimentary materials; 2nd floor: Karst caves at a depth from 40 ÷ 60 m including closed caves containing water or filled with hydrated materials; 3rd floor: including caves at great depths over 90m and up to tens of meters in size.

Key words: Land subsidence, multi-electrode resistivity imaging method, karst.